(3)

Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit.

Von **Sigmund Exner**,
stud. med.

(Mit 2 Tafeln und 3 Holzschnitten.)

(Aus dem physiologischen Institute des Herrn Gehm. Rath Helmholtz zu Heidelberg.)

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß die Zeit, welche nöthig ist, mittels des Gesichtssinnes einen Gegenstand wahrzunehmen, je nach Umständen eine höchst verschiedene sein kann. Von der unmeßbar kurzen Dauer eines sichtbaren elektrischen Funkens, bis zur mühsamen Wahrnehmung eines Gegenstandes im nahezu dunklen Raume, können alle Mittelstufen vorkommen.

In vorliegender Arbeit suchte ich die Umstände zu finden, von welchen jene kürzere oder längere Zeitdauer bedingt ist, und die Art und Weise zu bestimmen, in welcher dieselbe von jedem dieser Umstände abhängt. Da es sich bei diesen Untersuchungen fast immer darum handelte, das Netzhautbild eines bestimmten Gegenstandes eine sehr kurze aber genau meßbare Zeit wirken zu lassen, so will ich, bevor ich zur Mittheilung der Versuche selbst übergehe, die Mittel auseinandersetzen, durch welche ich den besagten Zweck erreichte.

Es diente mir hiezu eine Zusammenstellung zweier von Gehm. Rath Helmholtz construirter Apparate, deren erster ein elektromagnetischer Rotationsapparat ist, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit je nach Bedürfniß vergrößert oder verkleinert werden kann, während sie mittels eines Selbstregulators in jedem Falle constant erhalten wird, und deren zweiter, von dem ersten in Bewegung gesetzt, den Zweck hat dem Beobachter einen gewissen Gegenstand abwechselnd zu verdecken und dann wieder eine genau meßbare Zeit hindurch sichtbar werden zu lassen, und zwar in der Art, daß er zugleich in allen seinen Theilen verschwindet, und wieder auftaucht.

Beschreibung der constante Rotationsgeschwindigkeit erzeugenden elektromagnetischen Maschine.

Der elektromagnetische Rotationsapparat besteht im Wesentlichen aus zwei horizontalen, mit ihren ungleichnamigen Polen an einer verticalen Axe befestigten Elektromagneten, die sich derart zwischen zwei anderen fixirten Elektromagneten drehen, daß jeder der ersteren bei einer gewissen Stellung von einem der äußeren Magnete angezogen, von dem andern abgestoßen wird, und da, während er seiner Gleichgewichtslage zu, und vermöge seiner Trägheit über dieselbe hinauseilt, sich der Strom in seinem Drahtgewinde umkehrt, wird jeder von den rotirenden Elektromagneten nun von dem zweiten fixen Magneten angezogen, und dem ersten abgestoßen. Durch fortwährende Wiederholung dieses Spieles kommt eine Rotation zu Stande, deren Constanz durch einen an derselben verticalen Axe befestigten Regulator erhalten wird, welcher bei starker Drehung in Folge der entwickelten Centrifugalkräfte den die beweglichen Elektromagneten versehenden Strom unterbricht, um ihn bei Abnahme derselben gleich wieder zu schließen.

Es ist *a* (Taf. I, Fig. 1) die verticale Axe. Sie ist in einem eisernen Galgen *(A, A)*, der unten mit einem Querbalken *(B, B)* versehen auf drei Stellschrauben *(C, C, C)* ruht, leicht drehbar befestigt, indem ihr unteres konisches Ende in einer ebenfalls konischen eisernen Pfanne, in der Mitte des Näpfchens *b* ruht, und indem ihr gleiches oberes Ende in der Pfanne der Schraube *d*, welche zu besserer Fixation noch mit der Schraubenmutter *e* versehen ist, fest gehalten wird. An dem oberen Theil der Axe ist die runde Scheibe *f* befestigt, die durch die Schraubenmutter *g* fixirt wird. (Die Scheibe kann herausgenommen und durch eine größere oder kleinere ersetzt werden.) An ihrer Peripherie ist sie mit einer Nute zur Aufnahme eines Fadens versehen.

D ist eine ovale, um ihren Mittelpunkt verschiebbare Scheibe aus Hartkautschuk. Sie liegt auf dem unteren Querbalken des Galgen *(A)* auf und trägt zur Befestigung von Drähten die beiden Schrauben *h* und *k*, welche durch die Metallleisten *m* und *n* mit dem im Elfenbeinnäpfchen *b* befindlichen Quecksilber in Verbindung stehen. Dieses Näpfchen ist mit der Scheibe *D* fest verbunden; seine ringförmige Höhlung ist durch zwei Elfenbeinleisten, die in Richtung eines Durch-

messers gestellt sind, in zwei gleiche Theile getheilt, so daß das in demselben befindliche Quecksilber nicht miteinander communicirt, wohl aber seiner kuppelförmigen Erhebung über die Leisten wegen erlaubt, daß die Enden der an der Axe herablaufenden Drähte *o* und *p*, welche durch die Elfenbeinhülle *q*, die die metallene Axe umgibt, von derselben isolirt sind, bei Drehung der Axe abwechselnd in die beiden Quecksilbermassen eintauchen, ohne an die sie trennenden Elfenbeinleisten zu stoßen.

Der Regulator ist an einem länglich viereckigen Tischchen (*E, E*) angebracht, durch dessen Mitte die mit ihm fest verbundene Drehungsaxe geht. Dasselbe trägt an einer seiner kurzen Seiten ein Tförmiges Metallstück (*r*), welches an seinen beiden Armen die horizontal liegenden Schrauben *t* und *t'* trägt. An diesen Schrauben sind die Arme eines Yförmigen Metallstückes (*u*), um die horizontale Verbindungslinie der beiden Schraubenpfannen leicht drehbar, befestigt; es trägt an seinem unteren Theile das Gewicht *G*. Von dem horizontalen Schenkel des ersten zu dem verticalen Schenkel des zweiten führt eine Drahtspirale (*i*), welche die Überleitung des elektrischen Stromes ermöglicht, der vom Elektromagneten *H* und der Schraube *v* durch den Draht *w* herkömmt.

Das Gewicht *G* trägt an seiner der Axe zugekehrten ebenen Fläche ein Zäpfchen, das im Zustande der Ruhe an ein durch den Elfenbeineinsatz *x* isolirtes Metallplättchen stößt, welches durch die Schraube *y* mit dem Drahte *s*, dem horizontalen unter dem Tischchen verlaufenden Theil des Drahtes *p*, in Verbindung steht.

Mittels zweier Spiralfedern (von denen auf der Abbildung nur eine sichtbar ist), die an der unteren Seite des Tischchens liegen und fast bis an die zweite kurze Seite des Tischchens reichen, wird das Gewicht *G* an das besprochene Metallplättchen angedrückt. Jede Spiralfeder ist durch eine Schraube (α) mit einem ihrer Enden an das Gewicht befestigt, während das andere an einer quer unter dem Tischchen liegenden Metallleiste (ϑ) befestigt ist, welche mit einer Schraubenmutter versehen, mittelst der fixirten Schraube *L* in der Richtung der Längsaxe des Tischchens verschoben werden kann, wodurch die Spannung der Feder vermehrt oder verringert wird.

Zur genauen Regulirung dieser Spannung hat diese Seite des Tischchens einen Längsschlitz (β), in welchem ein Ansatzwürfel (γ) des unteren Befestigungsstückes der Spiralfedern sich mit demselben

hin und herbewegt. Dieser Ansatzwürfel, dessen oberste Fläche mit der Oberfläche des Tischchens zusammenfällt, trägt eine Marke, welche zur Einstellung auf Theilstriche einer neben dem Schlitze angebrachten Längstheilung dient. Die Theilstriche sind so gewählt, daß bei einer einmaligen Umdrehung der Schraube *(L)* die Marke um einen Theilstrich verschoben wird.

Zur Bestimmung von Bruchtheilen einer Umdrehung ist an der Schraube *(L)* noch die in 360 Grade getheilte Scheibe *O* angebracht, deren Theilstriche sich bei Drehung der Schraube an einer Marke vorbeibewegen, welche an dem rechtwinkelig gebogenen Metallaufsatz η angebracht ist.

An demselben Theile der Axe läuft durch eine senkrechte mit Elfenbein ausgelegte Bohrung die Fortsetzung des Drahtes *o*, welche die Schraubenklemme *t* passirend die Windungen des Elektromagneten *K* bildet, von hier aus auf den Elektromagneten *H* übergeht, der von ihr in gleicher Richtung wie *K* umwunden wird, dann zur Schraube *v* herabsteigt, und den Draht *w* bildet. Von diesem geht die Leitung auf den beschriebenen Weg durch das Gewicht *G*, die Drähte *s* und *p* zum Quecksilbernäpfchen.

Es ist zur Verhütung der schädlichen Funken, welche beim jedesmaligem Losreissen des Gewichtes *G* von dem genannten Metallplättchen entstehen müßten, eine Nebenschließung angebracht. Zu dem Ende läuft von der Schraube *v* ein Draht zu einer aus zwei mit *Cl Ca* Lösung gefüllten Glasgefäßen μ und ν bestehenden Vorrichtung. Nachdem der Strom in denselben zwischen je zwei Platinblechen die Flüssigkeit passirt, kehrt er durch den Draht σ und die Klemme *t* zur Hauptleitung zurück. Die Glasgefäßchen ruhen auf dem Gestell λ, das am Regulatortischchen befestigt ist. Sie sind durch eine Platte von hartem Kautschuk, welche zugleich die ein- und ausführenden Drähte festhält, zugedeckt. Ihnen gegenüber ist als Gegengewicht ein Stift horizontal an der Axe befestigt, der an einem Schraubengewinde verschiebbar, die Schraubenmutter *M* trägt.

Die äußeren fixen Elektromagneten bestehen aus Eisenkernen, die von den Spiralen *X* und *Y* umgeben sind, und an ihren der Axe *(a)* zugekehrten Enden die hufeisenförmigen Eisenstücke *S* und *N* tragen. Die inneren Oberflächen der letzteren, die nahezu einen Kugelgürtel bilden, stehen in geringer Entfernung von den sphärisch

abgerundeten äußeren Enden der inneren Elektromagneten, ohne sie bei deren Drehung zu berühren.

Der durch den Draht *R* zugeleitete Strom geht mittelst der Schraube 1, die durch das Blättchen von hartem Kautschuk 3 isolirt ist, in den Draht 4 über, der nachdem er die Elfenbeinröhre 5 passirt hat, die Spirale *Y* bildet. Das Ende dieser Spirale, das durch die Elfenbeinröhre 6 austritt, wird durch die Schraube 7 an den isolirten Metallstreifen *Z* angedrückt. Dieser Metallstreifen verläuft längs des oberen Theiles des Galgens *A* in einer Entfernung von 1 $1/2$ Mm. von demselben, durch die Elfenbeinstifte 8 festgehalten, zur Schraube 9. Von derselben aus geht, wie auf der anderen Seite, ein Draht, der die Spirale *X*, nach derselben Seite wie *Y* gewunden, bildet und an der Schraube 2 endet. An derselben ist der zweite zur Batterie gehende Draht *T* befestigt.

Die Wirkungsweise des Apparates ist kurz folgende: denken wir uns die Drähte *R* und *T* mit einer Batterie in Verbindung gebracht, — es genügt auch vollkommen ein Daniel'sches Element — und zwar steige in *R* der positive Strom auf, so wird, wenn sich der Draht der Spirale *Y* von 5 aus nach oben und vorne wendet, das hufeisenförmige Ende des Elektromagneten einen Nordpol bilden, und da derselbe Strom die Spirale *H* in derselben Richtung wie *Y* durchströmt, so wird dessen hufeisenförmiges Ende ein Südpol werden. Der Strom kehrt durch T zur Batterie zurück.

Ebenso tritt bei *K* von einer zweiten Batterie — aus 3 oder 4 Daniel'schen Elementen bestehend — ein positiver Strom ein, geht auf den beschriebenen Weg (*n*, *b*, *p*, *s*, *y*, *G*, *u*, *i*, *r*, *w*, *v*) zu dem Elektromagneten *H*, umkreist denselben, von seinem äußeren Ende betrachtet, in entgegengesetzter Richtung eines Uhrzeigers, wodurch sein dem äußeren Elektromagneten zugekehrter Pol ein Nordpol wird. Er tritt darauf in die Windungen von *K*, und macht hier, da er in derselben Richtung kreist, den äußeren Pol zum Südpol. Auf dem Weg *t*, *o*, *b*, *m* und *h* kehrt er zur Batterie zurück.

Es würden sich in der geschilderten und abgebildeten Stellung der Elektromagneten je zwei derselben abstoßen; während die inneren ihrer Gleichgewichtslage zu, und vermöge ihrer Trägheit über dieselbe hinauseilen, wechseln die in die Quecksilberbehälter getauchten Drähte *o* und *p*, wodurch der Strom in den Elektromagneten umgekehrt, und ihre Pole vertauscht werden, so daß jeder von ihnen

wieder von dem äußeren Elektromagneten, welcher ihn anzog, abgestoßen wird.

Die dadurch entstandene Rotation kann eine gewisse Winkelgeschwindigkeit nicht überschreiten, da das Gewicht *G* sich bei einer gewissen Größe der Centrifugalkraft von dem beschriebenen Metallplättchen losreißt, dadurch den Strom unterbricht, und so lange nicht wieder schließt, bis die Rotationsgeschwindigkeit auf ihr bestimmtes Maß herabgesunken ist. Durch Anspannen der Spiral-Federn mittelst der Schraube *L* kann die Größe der Centrifugalkraft, welche das Gewicht abzuheben vermag, somit auch die Rotationsgeschwindigkeit beliebig abgeändert werden. Da die Elektromagneten, so wie die Vorrichtungen des Regulatortischchens, selbst als Schwungräder dienen, ist die endliche Rotationsgeschwindigkeit, d. h. diejenige, welche der Apparat erreicht hat, während der Regulator arbeitet, eine sehr constante. Man kann leicht an einem leisen Klappern des auffallenden Gewichtes *G* erkennen, ob der Apparat diejenige Umdrehungsgeschwindigkeit wirklich erreicht hat, bei welcher der Regulator seine Wirkung übt, bei welcher man also der Constanz der Umdrehungsgeschwindigkeit gewiß ist. Dieselbe ist in der That eine sehr genaue:

Nach mir darüber gemachten Mittheilungen von Herrn Geheimrath Helmholtz ist es diesem bei sorgfältiger Regulirung des Apparates gelungen eine mit demselben durch den Schnurlauf verbundene Sirene in so regelmäßiger Rotation zu erhalten, daß dieselbe mit einer gleichzeitig tönenden Stimmgabel ganz regelmäßige Schwingungen gab und in mehreren Versuchsreihen von je 5 Minuten die Schwingungszahl nicht um $\frac{1}{4000}$ ihrer Größe wechselte. Um einen so regelmäßigen Gang zu erreichen, muß man die Stromesstärke so reguliren, daß sie nur sehr wenig über den Punkt hinausgeht, wo sie gerade zureicht, die Bewegung des Apparates zu unterhalten. Die Sirene wurde bei diesen Versuchen nicht angeblasen, sondern es war auf ihrer rotirenden Scheibe eine kleine Turbine aufgesetzt, die den Luftstrom erzeugte.

Beschreibung des Apparates zur Unterbrechung des Lichteindruckes.

Der zweite der Apparate besteht im Wesentlichen aus zwei parallel gestellten kreisförmigen Scheiben, deren Mittelpunkte in derselben auf die Ebene der Scheiben senkrechten Geraden liegen.

Beide besitzen einen Ausschnitt und sind um ihren Mittelpunkt drehbar, und zwar wird die Rotation der einen Scheibe mittelst Zahnräder auf die andere übertragen. Da sie ungleiche Umdrehungsgeschwindigkeit haben, so werden zu bestimmten Zeiten die Ausschnitte der beiden Scheiben, in derselben der Drehungsaxe parallelen Richtung liegen. Dem passend gestellten Auge des Beobachters werden also nach je einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen, die beiden Ausschnitte coïncidiren und einen in ihrer Richtung aufgestellten Gegenstand sichtbar werden lassen. Derselbe bleibt nur so lange sichtbar, als es die Spaltbreite der schneller rotirenden Scheibe erlaubt. Damit er nicht zubald wieder sichtbar wird, verdeckt nach einer Umdrehung derselben die zweite Scheibe das Bild. Die Dauer der Sichtbarkeit läßt sich aus der bekannten Winkelgeschwindigkeit der Scheiben und der Größe ihrer Ausschnitte berechnen.

Ein System von Linsen dient dazu, den beobachteten Gegenstand um ein Weniges zu vergrößern, und von den Grenzen des einen der Ausschnitte ein so starkes Zerstreuungsbild zu entwerfen, daß dadurch, bei Vorrücken derselben vor den Gegenstand, dieser scheinbar in allen seinen Theilen zugleich und binnen möglichst kurzer Zeit verschwindet, und in derselben Weise wieder auftaucht.

Auf einem Brette (Taf. I, Fig. 2) sind drei Axenlager befestigt; zwischen je zwei derselben ruht leicht drehbar eine eiserne Axe (*A* und *B*). Die Axe *A*, die so wie *B* an dem mittleren Axenlager mit konischen Enden in konischen Vertiefungen ruht, ist an dem äußeren hinteren Axenlager *E* (die Abbildung zeigt den Apparat von der Seite und hinten), in gleicher Weise durch die Schraube *a* befestigt, die noch mit der Schraubenmutter *b* versehen ist. Nahe diesem Ende trägt sie die eine der beiden mit Ausschnitten versehenen Scheiben *M*.

Der Ausschnitt (*c*) dieser Scheibe wird einerseits gebildet durch die geraden Begrenzungslinien zweier Halbkreise aus steifem Papier, die um die Drehungsaxe, in welcher ihre Centra liegen, verschiebbar sind, andererseits durch einen Theil der Peripherie zweier congruenter runder Messingscheiben, zwischen welchen jene Halbkreise eingeklemmt sind.

Die vordere dieser beiden Klemmscheiben ist fest mit der Axe (*A*) verbunden und trägt an der Peripherie ihrer Vorderseite eine Gradeintheilung. Die hintere derselben (*D*) ist an der Axe ver-

schiebbar, und kann durch die Schraubenmutter (*d*) an die vordere angepreßt werden. Zwischen dieser Schraubenmutter und der beweglichen Scheibe (*D*) ist noch eine ebenfalls an der Axe verschiebbare Drehscheibe (*f*) eingeschaltet, die an ihrer Peripherie in einer Nute einen Faden aufnehmen kann. Auch sie wird durch die Schraubenmutter (*d*) fixirt.

Senkrecht unter dieser Drehscheibe — zwischen und hinter den beiden Schenkeln des Axenlagers *E* — sitzen auf dem Brette zwei, um eine horizontale Axe drehbare Rollen, *h* und *k* auf, die ebenfalls mit Nuten versehen sind. (Sie sind zur bequemeren Handhabung auch um eine verticale Axe (*g*), die aber nicht in gleicher Ebene mit der horizontalen liegt, drehbar.) Bei Gebrauch der Apparate geht eine Schnur ohne Ende von der Scheibe *f* zu der Rolle *K*, von dieser zu der Scheibe *f* des Rotationsapparates, und über die Rolle *h* wieder zurück. Die Drehung des Rotationsapparates wird somit auf die Axe *A* übertragen.

An ihrem anderen Ende trägt dieselbe das kleine Zahnrad *F*, das in das Zahnrad *G* eingreift, dessen Peripherie viermal größer als jene von *F* ist. *G* hat gemeinschaftliche Drehungsaxe mit *H* dessen Peripherie wieder dreimal so klein ist wie jene des Zahnrads *K*, das an der Axe *B* haftet.

Während also die Axe *A*, und ihre Seheibe *M* zwölf Umdrehungen macht, macht die Axe *B* und ihre Scheibe *N* eine Umdrehung.

Diese Scheibe *N*, die mit dem Ausschnitt *l* versehen ist (zur Herstellung des Gleichgewichtes sind zum Ersatz der ausgeschnittenen Metallplatte neben dem Ausschnitt zwei große Schraubenköpfe angebracht), dreht sich vor einem Spalt, der beliebig erweitert werden kann.

Zu dem Ende sind an dem vorderen Axenlager, das mittelst der Schraube *o* (Taf. I, Fig. 3) die Axe *B* trägt, zwei metallene Kreissectoren angebracht, deren breiterer und hinterer *p* fixirt ist, und deren schmälerer und vorderer *q* um die Axe *B*, in welcher die Mittelpunkte der den beiden Sectoren zugehörenden Kreise liegen, drehbar ist; der Spalt des Sectors *p* wird zum Theil durch den Sector *q* verdeckt; letzterer wird einerseits durch die Feder *r*, andererseits durch die Schraube *s* in seiner Lage erhalten. Da das Metallstück *v*, das die Schraubenmutter für *s* enthält an *p*, das Metallstück *w* aber, an

welches die Spitze der Schraube s stößt, an q befestigt ist, so wird bei Drehung der Schraube der unverdeckte Theil des Spaltes x vergrößert oder verkleinert.

Das mittlere Axenlager besitzt einen Aufsatz, der in Gabeln den Tubus P (Taf. I, Fig. 2) trägt, an dessen Enden verschiebbar zwei Sammellinsen angebracht sind, deren gemeinschaftliche optische Axe parallel den Drehungsaxen A und B und in gleicher Höhe mit den Ausschnitten der beiden Scheiben (M und N) liegt.

Die beiden Linsen m und n haben die gleiche Brennweite, sie beträgt ein Viertheil der Entfernung der beiden Scheiben M und N. Die Linsen sind so gestellt, daß die Entfernung der Scheibe M von der Linse m, die Entfernung dieser von der Mitte des Tubus P, ferner die Entfernung der Linse n von dieser Mitte, endlich die Entfernung von n bis zum Spalt l gleich groß sind, somit der hintere Brennpunkt der Linse m in die Ebene des Spaltes c, der vordere Brennpunkt derselbe zugleich mit dem hinteren der Linse n in die Mitte des Tubus P, und der vordere Brennpunkt von n in die Ebene des Ausschnittes l fällt.

Dicht vor dem Spalte x (Taf. I, Fig. 3) ist ein kleines Fernrohr aufgestellt, das nur wenig vergrößert, und auf unendliche Entfernung eingestellt ist. (Dieses Fernrohr ist der Einfachheit wegen auf der Abbildung weggelassen.)

Durch diesen optischen Theil des Apparates ist bewirkt, daß das Bild eines fernen (nehmen wir an in unendlicher Entfernung befindlichen) Gegenstandes, der sich in der Verlängerung der optischen Axen von m und n befindet, wenn die beiden Scheibenausschnitte ihre höchste Stellung einnehmen, durch die Linse m in deren Brennpunkt, von diesem, da er zugleich jener von n ist, in unendliche Entfernung geworfen wird, und als solches durch das Fernrohr betrachtet werden kann.

Dreht sich die Scheibe M so weit, daß der Rand der Papierscheibe in die optische Axe fällt, so wird von diesem, da er im Brennpunkt von m liegt, mittelst der Linse n ein Bild in der Ebene des Spaltes l entworfen, das durch das Fernrohr betrachtet ein Zerstreuungsbild gibt, welches als ein gleichförmiger Nebel den entfernten Gegenstand bedeckt, und bei weiterer Drehung verschwinden macht. Da dieses Bild des Spaltendes in der Ebene der Pupille des beobachtenden Auges liegt, so wird die Zeit, welche

vom Beginne bis zum vollendeten Verdecken des beobachteten Gegenstandes vergeht, gleich sein der Zeit, welche das Bild braucht um eine der Breite der Pupille gleiche Strecke zurückzulegen, so daß durch diese Einrichtung auch die Zeitdauer der Verdeckung des Beobachtungsgegenstandes möglichst klein gemacht wird.

Bei den mitzutheilenden Beobachtungen wurde die Messung der Zeit, durch welche der Beobachtungsgegenstand sichtbar war, in der Art vorgenommen, daß der Spalt der hinteren Scheibe bei dem Theilstrich ihrer Eintheilung begann, der bei Drehung der Scheiben in dem Momente die oberste Stellung einnahm, in welchem der entsprechende Rand des vorderen Scheibenausschnittes den Spalt (x) abdeckte. Dieser Theilstrich war mit θ bezeichnet. Von diesem Theilstrich an konnte ich, durch Verschiebung und verschiedene Combinationen jener eingeklemmten Papiersectoren eine beliebig große Anzaht Grade frei lassen, ja ich konnte den Spalt gleichsam um die ganze Scheibe herumgehen lassen, d. h. die Papiersectoren ganz entfernen, da der Ausschnitt der vorderen Scheibe gerade ein Zwölftheil ihrer Peripherie beträgt, somit die hintere Scheibe gerade eine Umdrehung macht, während der Spalt offen ist. Aus der Anzahl der offenen Grade (also der Breite des Spaltes) der hinteren Scheibe und ihrer Umlaufszeit, kann man leicht die Dauer der Sichtbarkeit des Gegenstandes berechnen.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit dieser hinteren Scheibe beurtheilte ich nach der Anzahl der Umdrehungen der vorderen Scheibe innerhalb zweier Minuten. Es läßt sich aus den gegebenen Daten die Zeit des Vorübergehens einer gewißen Anzahl von Graden der hinteren Scheibe an der Öffnung des Tubus P ein für allemal durch den Bruch $\frac{a}{36\,b}$ ausdrücken, in welchem a die Anzahl der vorübergehenden Grade und b die Anzahl der Umdrehungen der vorderen Scheibe binnen zweier Minuten bedeuten. Diese Zeit ist in Secunden ausgedrückt [1]).

1) Die beschriebenen Apparate sind von dem Mechaniker L. Zimmermann in Heidelberg ausgeführt.

Zeitlicher Verlauf des Gesichts-Eindruckes.

Bevor ich mich zur Besprechung der modificirenden Umstände eines Gesichtseindruckes von sehr kurzer Dauer wende, will ich vorerst mittheilen, was mir über die Art eines solchen Eindruckes überhaupt zu ermitteln gelungen ist.

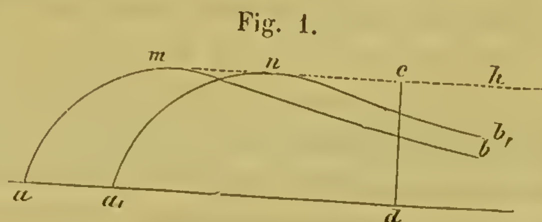
Da zur Erreichung eines bestimmten Grades der Veränderung im Zustande der Netzhaut (der Reizung) eine gewisse Quantität der verändernden Kraft (des Reizmittels) nöthig sein muß, so wird diese Kraft erst nach einer bestimmten Zeit das Maximum ihrer Wirkung hervorgebracht haben. Nach Erreichung des Maximums muß die Intensität der Reizung in Folge der eintretenden Ermüdung der Netzhaut wieder abnehmen.

Es wird demnach der Zustand der Reizung der Netzhaut in der ersten Zeit der Einwirkung des Reizmittels durch eine Curve auszudrücken sein, die — wenn die horizontalen Coordinaten die Dauer der Einwirkung, die verticalen die Intensität der Reizung nach dieser Dauer ausdrücken — einen kurzen aufsteigenden Ast, ein Maximum und einen langen absteigenden Ast besitzen muß.

Daß die Curve wirklich von einem gewissen Punkte an abfällt, zeigt sich zunächst dadurch, daß zwei Netzhautstellen auf welche gleich starke Reizmittel, nicht gleich lange eingewirkt haben, verschieden intensive Eindrücke liefern.

Lasse ich zum Beispiel mittelst der besprochenen Apparate das Bild eines weißen Kreises auf schwarzem Sammt eine gewisse Zeit auf mein Auge wirken, und dann durch das Vorrücken der hinteren Scheibe, welche ein Weiß von derselben Intensität liefern soll, verdecken, so bleibt im hellen Gesichtsfelde ein negatives Nachbild des weißen Kreises zurück.

Fig. 1.



In der That: wenn ab (Fig. 1) die Reizungscurve für die erstgereizte Netzhautstelle ist, und a_1 b_1 dieselbe für die später gereizte, so müssen dieselben, welche Gestalt sie auch immer haben mögen, congruent sein, da sie durch gleiche Reizmittel — und natürlich auch sonst unter gleichen Umständen — erzeugt sind; würden sie

nicht abfallen, sondern längs der Linie $m\ h$ verlaufen, so würde von n an kein Unterschied im Reizungszustand der beiden Netzhautstellen vorhanden sein. Sie fallen aber in Wirklichkeit ab, und Folge davon ist, daß z. B. in $c\ d$ die Curve, welche später begann, höher, jene, welche früher begann, niedriger ist. Es muß also die Netzhautstelle welche $a\ b$ lieferte trotzdem, daß auf sie dasselbe Reizmittel wirkt, wie auf die andere, weniger intensiv empfinden, d. h. der Gegenstand muß im negativen Nachbild erscheinen. Natürlich muß hiebei der Zeitunterschied des Anfangs der Curven kein zu geringer sein.

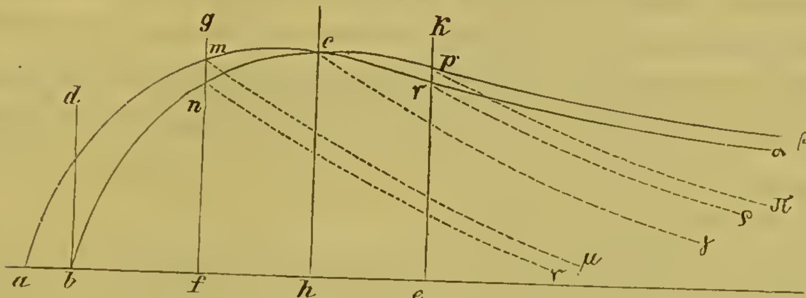
Es ist, wenn es sich um Wahrnehmung eines Bildes binnen sehr kurzer Zeit handelt, das positive Nachbild desselben von wesentlicher Bedeutung, da es seiner langen Dauer wegen eine selbst geringe Erregung zum Bewußtsein bringen kann. Man kann sich hievon leicht überzeugen, wenn man einen Eindruck, etwa wie früher durch einen weißen Kreis geliefert, auf welchem durch Vorrücken der Scheibe ein grelles Weiß folgt, so kurz wirken läßt, daß das betreffende Bild nicht wahrgenommen wird. Ersetzt man dann das grelle Weiß durch Schwarz, so daß das positive Nachbild sich entwickeln kann, so ist er vollkommen deutlich wahrnehmbar: Diesen Umstand benütze ich zur zeitlichen Bestimmung des Maximums der Curven bei verschiedenen Reizungsintensitäten.

Wenn nämlich wie vorher auf zwei gleichartigen Stellen der Netzhaut gleichartige Reize ausgeübt werden, so müssen die den Verlauf der Reizung darstellenden Curven congruent sein; erfolgt aber die Reizung in der zweiten Netzhautstelle ein Weniges später als in der ersten, so muß der Moment, in welchen beide Reizungscurven gleiche Höhe erreicht haben, wegen der jedenfalls langsamen Senkung der ersten Curve hinter ihrem Maximum, nahezu dem Maximum der zweiten Curve entsprechen.

Es sei $ac\alpha$ (Fig. 2) der Anfang einer Reizungscurve; nachdem dieselbe eine gewisse Höhe erreicht hat, beginne bei bd eine ihr congruente Curve $bc\beta$, beide mögen sich in c schneiden. In diesem Durchschnittspunkte wird allerdings die Curve $ac\alpha$ ihr Maximum schon überschritten, die Curve $bc\beta$ jedoch ihr Maximum noch nicht erreicht haben, doch muß der durch die Annahme des Durchschnittspunktes als Maximum der zweiten Curve bedingte Fehler, wenn nur die zwischen Beginn der beiden Curven vergehende

Zeit eine gewiße Größe nicht überschreitet, so gering sein, daß er hier nicht in Betracht kommen kann [1]).

Fig. 2.



Erfolgt nun gleichzeitig in beiden Netzhautstellen eine Unterbrechung des Reizes vor dem Durchschnittspunkt der beiden Curven z. B. bei $f\ g$, so haben die auf den beiden Stellen der Netzhaut zurückbleibenden positiven Nachbilder der reizenden Objecte verschiedene Intensität, wie die Curven $m\ \mu$ und $n\ \nu$ versinnlichen sollen, tragen somit wesentlich zur Wahrnehmung des Beobachtungsgegenstandes bei, wenn derselbe selbst nur kurze Zeit auf das Auge wirkte.

Wenn demnach bei vollem Ablauf der Curven ein Unterschied der Reizung der beiden Netzhautstellen nur schwer oder gar nicht wahrzunehmen ist, so wird der Unterschied viel deutlicher hervortreten, wenn in einem Momente, in welchem die Curven noch einen bedeutenden Höhenunterschied haben, die Reizung abgeschnitten wird.

Durch die zeitliche Verschiebung des Momentes der Unterbrechung, muß sich ermitteln lassen, nach Ablauf welcher Zeit das Unterbrechen der Reize kein Deutlicher-Werden ihrer Differenzen im Sinne des positiven Nachbildes des Beobachtungsgegenstandes mehr erkennen läßt. Es wird dies bei $c\ h$ sein. Die Nachbilder werden nahezu nach derselben Curve $c\ \gamma$ abfallen.

---

1) Da nämlich der Durchschnittspunkt jedenfalls zwischen den beiden Maximis liegt, der Zeitunterschied zwischen diesen beiden aber jenem zwischen dem Beginn der beiden Curven gleich sein muß, so würden, wenn die Curven an ihren Gipfeln Kreisbogen wären, der vernachläßigte Fehler, nach den später mitgetheilten Werthen für den Zeitunterschied des Beginnes der Curven zwischen 7 und 9 Tausendtheilen einer Secunde liegen. Bei der wahren Gestalt der Curven muß sich dieser Fehler aber noch um Bedeutendes verringern, so daß er füglich vernachläßigt werden kann, um so mehr, da er sich in den betreffenden Versuchsreihen nicht addirt.

Eben so läßt sich von der entgegengesetzten Seite her die Lage des Durchschnittspunktes der beiden Curven bestimmen. Schneidet man nämlich die Reizung hinter diesem, etwa bei $e\ k$ ab, so erscheint in Folge der Nachbildscurven $p\ \pi$ und $r\ \rho$ ein negatives Nachbild des Beobachtungsgegenstandes.

Durch Vorrücken des Unterbrechungsmomentes $e\ k$ gegen den Beginn der Curven hin kann man den Punkt aufsuchen, bei welchem das negative Nachbild nicht mehr zum Vorschein kömmt; es muß dieser ebenfalls bei $c\ h$ liegen.

Da in Wirklichkeit wegen des geringen Abstandes der Curven in der Nähe ihres Durchschnittspunktes das Verfolgen des positiven und negativen Nachbildes bis zu denselben nicht mit vollkommener Genauigkeit ausgeführt werden kann, so erhält man verhältnißmäßig enge Grenzen, zwischen welchen der gesuchte Durchschnittspunkt liegt.

Die Ausführung des Versuches war folgende:

Das runde Sehfeld meines Fernrohrs schien längs des verticalen Durchmessers in zwei Halbkreise getheilt, deren einer schwarz der andere weiß war; ein Schirm aus schwarzem Sammt, halb mit weißem Papier bedeckt, diente zu diesem Zwecke.

Der Spalt c der Scheibe M war an der Seite, die den Gegenstand verdecken sollte, durch eine Scheibe von weißem Papier gebildet. Dieselbe wurde so beleuchtet, daß wenn sie dem durch das Fernrohr sehenden Beobachter das Sehfeld erfüllte, ihre Intensität jener des (natürlich unter denselben Umständen gesehenen) Halbkreises gleich erschien.

Dieser weiße Theil der Scheibe konnte durch Überschieben schwarzer Sectoren beliebig verkleinert werden.

Bei Bewegung des Apparates wurde also zuerst der weiße Halbkreis (d. i. die eine Hälfte des Sehfeldes) sichtbar, darauf wurde durch Vorrücken der Scheibe das ganze Sehfeld weiß, und nach Vorbeigang des weißen Theils der Scheibe wieder vollkommen verdunkelt.

Bei Vornahme einer Bestimmung wurde nun, während zuerst nur weiße Sectoren die Scheibe bildeten, diejenige Größe des Spaltes gesucht, bei welcher man — bei bestimmter Rotationsgeschwindigkeit — den Halbkreis eben nicht mehr wahrnahm.

War dies geschehen, so wurden, natürlich unter Beibehaltung der Größe des Spaltes, die schwarzen Sectoren eingeschoben und anfangs so weit über das Weiß gegen das Ende hin vorgerückt, daß bei Rotation des Apparates der zu beobachtende Halbkreis deutlich sichtbar wurde, und dann durch allmählige Entfernung des Schwarz vom Ende des Spaltes (also Vergrößerung des weißen Theiles der Scheibe) der Punkt gesucht, bei welchem der Halbkreis nicht mehr sichtbar war.

Eben so ward, nachdem die schwarzen Sectoren so weit vom Spalt entfernt wurden, daß ein deutliches negatives Nachbild des weißen Halbkreises zum Vorschein kam, durch allmählige Annäherung derselben an den Spalt wieder der Punkt gesucht, bei welchem das negative Nachbild nicht mehr zum Vorschein kam [1].

Der Moment der Abdeckung des weißen Halbkreises durch die rotirende Scheibe *N* entspricht dem Beginne der ersten Curve, das Vorrücken der Scheibe *M*, also das Auftreten des ergänzenden Halbkreises dem Beginne der zweiten Curve, und die Momente, in welchen einerseits kein positives, andererseits kein negatives Nachbild, bei Unterbrechung der Reizung durch Schwarz mehr wahrgenommen wird, den Grenzen zwischen welchen der Durchschnittspunkt der Curven liegen muß. Die Länge des auf der Scheibe angebrachten Weiß repräsentirt also die Zeit, die zwischen Beginn der zweiten Curve und diesen Grenzen vorgeht.

Nach dieser Methode untersuchte ich die Zeitverhältnisse der Erreichung des Maximums bei verschiedenen Reizungs-Intensitäten, und zwar wurden Intensitäten angewendet, die in einer geometrischen Progression, deren Coëfficient 2 war, zunahmen [2].

Um diese Beleuchtungsintensitäten zu erhalten, wurde der oben bezeichnete weiße Halbkreis, dem anfangs eine grelle Beleuchtung ertheilt war, mittelst doppeltbrechender Kalkspathprismen betrachtet, so, daß längs seiner verticalen Begrenzungslinie ein grauer Streifen,

---

[1]) Dieses negative Nachbild ist begreiflicher Weise nicht sehr deutlich; es erschien bei meinem Beobachtungsgegenstand immer als ein heller verticaler Streifen, der durch Contrast besonders hervortretenden Grenze, zwischen dem schwarzen und weißen Halbkreis entsprechend.

[2]) Es hat schon Brücke (Über den Nutzeffect intermittirender Netzhautreizung, Wiener Akad. d. Wiss. Bd. XLIX), in einem speciellen Fall die Zeit der höchsten Reizungsintensität auf andere Weise bestimmt, und dieselbe 0·186 Sek. gefunden.

ein Theil seines Doppelbildes, sichtbar wurde, der die halbe Intensität des ursprünglichen Halbkreises besaß. Der weiße Theil der Scheibe, der anfangs die Intensität des Halbkreises hatte, wurde nun so beleuchtet, daß er mit jenen Streifen gleiche Intensität zeigte und nun entsprechend seiner Helligkeit, die Helligkeit des Halbkreises selbst herabgesetzt, so daß dieser auf seine halbe Helligkeit reducirt war. Durch Wiederholung dieser Manipulation ward eine Intensitätsreihe hergestellt, in welcher jedes Glied die Hälfte des vorhergehenden war.

Die für zwei Versuchsreihen gefundenen Resultate sind:

Intensitäten	Zeitunterschied zwisch. Beginn d. beid. Curven	Grenze des positiven Nachbildes	Grenze des negativen Nachbildes	Mittel d. Grenz. als Durchschnittspunkte der Curven	Differenzen
1.	0·0182	0·2777	0·2984	0·2873	0·0413
2.	0·0174	0·2333	0·2603	0·2460	0·0460
4.	0·0174	0·1934	0·2063	0·2000	0·0492
8.	0·0174	0·1455	0·1555	0·1508	

Intensitäten	Zeitunterschied zwischen Beginn der beiden Curven	Mittel als Durchschnittspunkt der Curven	Differenzen
1.	0·0193	0·2654	0·0478
2.	0·0185	0·2176	0·0432
4.	0·0145	0·1744	0·0556
8.	0·0169	0·1188	

Da die Differenzen zwischen je zwei für die Erreichung des Maximums (bezüglich des Durchschnittspunktes) der Curven erhaltenen Zahlenwerthe nahezu gleich sind, ihre Abweichungen ganz wohl als Versuchsfehler bezeichnet werden können, so sprechen die erhaltenen Resultate das Gesetz aus:

Wenn die Reizungs-Intensitäten in geometrischer Progression wachsen, so nehmen die Zeiten, die zwischen Beginn der Reizung und ihrer höchsten Intensität verlaufen, in arithmetischer Progression ab.

Mit Hilfe dieses Mittels den Zeitpunkt des Maximums der Reizung zu bestimmen, gelang es mir die ganze Reizungs-Curve zu construiren.

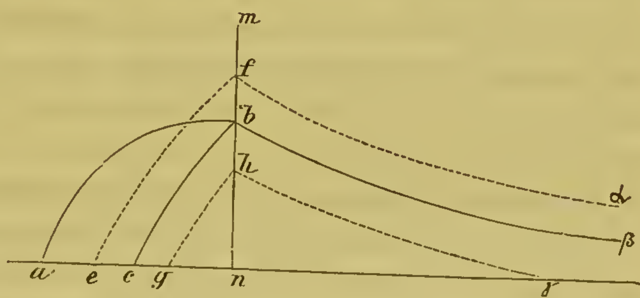
Auf die Methode, durch die ich dies erreichte, führte mich folgende Betrachtung:

Wenn das Netzhautbild eines hell beleuchteten weißen Gegenstandes gerade so lange auf die Netzhaut wirkt, bis die Reizung ihr Maximum erreicht hat, und es tritt dann an seine Stelle Schwarz, so wird der Gegenstand in einem Weiß von gewisser Intensität gesehen, und zwar kömmt, wie bereits auseinandergesetzt, die Wahrnehmung vorzüglich durch die relativ lange Wirkung des positiven Nachbildes zu Stande.

Schneidet man aber die Reizung durch das folgende Schwarz ab, bevor sie ihre höchste Intensität erreicht hat, dann wird der Gegenstand natürlich in einem Weiß von geringerer Intensität erscheinen.

Es sei *cb* (Fig. 3) der Anfang einer Reizungscurve, die bei *m n* durch Schwarz in ihrem Verlauf unterbrochen, in die abfallende Intensitätscurve des Nachbildes übergeht; *b β* sei diese abfallende Curve.

Fig. 3.



Es muß nun noch eine andere Reizungscurve *a b* von einem weniger hell beleuchteten Objecte geben, die wenn sie bei *b* durch Schwarz in ihrem Verlaufe unterbrochen wird, daselbst eben ihr Maximum erreicht hat.

Dieselbe muß dann auch eine Curve für das Nachbild geben, die wenigstens sehr annäherungsweise mit der Curve *b β* zusammenfällt. Da man den Gegenstand hauptsächlich durch die Wirkung des Nachbildes wahrnimmt, so wird man, wenn die beiden Gegenstände gleich hell erscheinen, schließen können, daß die Reizungscurven wirklich in *b* zusammenstießen.

Gesetzt es würden zwei benachbarte (also leicht vergleichbare) Stellen der Netzhaut derart durch das Bild zweier verschieden erhellter Gegenstände gereizt, daß in der ersten die Reizungscurve, deren

Anfang $a\,b$ ist, in der zweiten diejenige, deren Anfang $c\,b$ ist, den Verlauf der Reizung ausdrückt, gesetzt ferner, daß die Zeit, nach welcher $a\,b$ ihr Maximum erreicht, und dieses Maximum selbst gegeben wäre, so würde man die Zeit bestimmen können, welche verlaufen muß bis die Reizung in der zweiten Stelle der Netzhaut die Intensität erreicht hat, die dem Maximum der Reizung der ersteren gleich ist.

Wird nämlich die Curve deren Anfang $a\,b$ ist, in b durch $m\,n$ abgeschnitten, so erscheint der Gegenstand in einer gewissen Intensität. Wenn man nun zugleich auf der anderen Stelle der Netzhaut den Reiz wirken läßt, dessen anfänglichen Verlauf die Curve $c\,b$ ausdrückt, und wenn man diese Curve bei e beginnen ließe, so würde, da sie zur selben Zeit wie die erste Curve abgeschnitten wird, der ihr angehörende Gegenstand in Folge der Curve $f\,\alpha$ heller erscheinen. Würde die Reizung erst später, z. B. bei g beginnen, so würde der Gegenstand in Folge von $h\,\gamma$ dunkler erscheinen als der Gegenstand der ersten Curve.

Es läßt sich demnach die Zeit $c\,n$ bestimmen nach welcher ein Reiz eine gewisse Intensität $n\,b$ erreicht, wenn die Zeit gegeben ist, nach welcher eine Reizung, deren höchste Intensität $n\,b$ ist, diese höchste Intensität erreicht.

Diese Zeit ist aber, wie wir sahen, bestimmbar.

Indem ich dem zweiten der Beobachtungsgegenstände eine ziemlich große constante Intensität der Beleuchtung gab, ertheilte ich dem ersten derselben nach einander bestimmte Bruchtheile der Intensität des zweiten, und konnte nun auf die beschriebene Weise bestimmen, wie lange der zweite heller beleuchtete in jedem Falle wirken mußte, damit er denselben Effect hervorbringe, den der erste schwächer beleuchtete hervorgebracht hatte, wenn er jedesmal eben bis zur Erreichung der höchsten Intensität gewirkt hatte; dadurch fand ich die Zeiten, die verlaufen mußten, bis die Curve des zweiten Gegenstandes bekannte Höhen erreichte, also die horizontalen Coordinaten zu bekannten verticalen.

Den absteigenden Ast der Curve bestimmte ich im Wesentlichen nach derselben Methode. Nur beginnt hier natürlich die Hilfscurve nach dem Anfang der zu bestimmenden Curve.

Der Versuch wurde für den aufsteigenden Ast der Curve auf folgende Weise ausgeführt:

Das kreisförmige Sehfeld meines Apparates ließ mich auf einem Schirm von schwarzem Sammt einen Quadranten von weißem Papier sehen, dessen rechter Winkel im Mittelpunkt des Sehfeldes lag. Ein eben solcher Schirm, der seitlich aufgestellt war, und ebenfalls einen weißen Quadranten trug, wurde mittelst eines rechtwinklichen spiegelnden Primas gesehen, das dicht hinter der Scheibe *M* meines Apparates aufgestellt war, und dessen Höhe etwa die halbe Höhe des Spaltes betrug.

Auf diese Weise sah ich über das Prisma hinweg den Quadranten des in gerader Richtung aufgestellten Schirmes, und durch das Prisma gespiegelt den Quadranten des seitlich gestellten Schirmes.

Die Quadranten hatten eine solche Lage, daß mein Sehfeld durch einen horizontalen und einen verticalen Durchmesser in vier gleiche Theile getheilt erschien, deren zwei weiß und zwei schwarz waren, und je zwei gleichfärbige einen Scheitelwinkel bildeten.

Diese beiden Quadranten dienten als Beobachtungsgegenstände. Der seitlich gestellte behielt immer dieselbe Intensität, da er die zu bestimmende Curve liefern sollte, während der gerade gesehene Quadrant die Hilfscurven geben sollte.

Um die Dauer der Sichtbarkeit beider Quadranten unabhängig von einander abändern zu können, war zwischen den beiden halbkreisförmigen Scheiben aus schwarzem Sammt, die den Spalt *c* bildeten, noch eine Scheibe eingeschoben, deren Radius aber nur so groß war, daß dieselbe das Prisma und somit nur das durch dasselbe gespiegelte Bild verdecken konnte; sie war so gestellt, daß das Prisma später abgedeckt wurde als der übrige Theil des Sehfeldes.

Es ward also bei Drehung der Scheibe zuerst der gerade gesehene Sector sichtbar.

Die Dauer seiner Sichtbarkeit ward in jedem Falle durch Verschiebung der Sammt-Scheiben so groß gemacht, daß die durch ihn erzeugte Reizung der Retina eben ihr Maximum erreichte.

Nach dem Auftauchen dieses Sectors wurde durch die kleinere Scheibe das Prisma, also der andere Sector abgedeckt; durch Verschiebung der kleinen Scheibe innerhalb des Spaltes den die großen bildeten, wurde diejenige Lage der ersteren gesucht, bei welcher die beiden Sectoren, die durch das Vortreten des zweiten Randes des Spaltes zugleich verdeckt wurden, gleich hell erschienen. Der

Entfernung (Ausschnittsbreite) der beiden großen Scheiben ist also die Wirkungsdauer der Hilfscurve, der Entfernung der kleinen Scheibe von der zweiten großen Scheibe, also dem Ende des Spaltes, ist die Wirkungsdauer der zu bestimmenden Curve proportional.

Jeder der beiden Sectoren war durch eine Gaslampe beleuchtet; um den Gasdruck möglichst constant zu erhalten, ging von beiden Gasschläuchen eine Nebenleitung zu einem Manometer, der durch eine Marke den einmal gewählten Gasdruck anzeigte, und eine Regulirung bei Schwankungen des Druckes ermöglichte. Die Lampe, welche den seitlich gestellten Sector beleuchtete, blieb immer am selben Orte, die, welche den geradeaus gestellten Sector beleuchtete, ward zur Änderung der Intensität der Beleuchtung längs einer geraden Linie verschoben. (Jedes fremde Licht war natürlich bestmöglichst ausgeschlossen.)

Die letztere Lampe ward zuerst in eine solche Entfernung gestellt, daß die beiden Sectoren, dauernd gesehen, gleich hell erschienen, dann wurden die Entfernungen berechnet, die man derselben vom Sector aus geben mußte, damit derselbe jedesmal $^1/_{10}$ seiner ursprünglichen Helligkeit verliere.

Nachdem für jedem dieser Fälle die Zeit bestimmt war, nach welcher die jedesmalige Helligkeit des Sectors das Maximum der Reizung bewirkt hatte, wurde die Zeit gesucht, nach welcher der seitlich gestellte hellere Sector dieselben Grade der Reizung hervorgebracht hatte, d. h. gleich hell erschien.

Ich bekam demnach eine Zahlenreihe, deren erstes Glied mir die Zeit angab, nach welcher die Reizung $^1/_{10}$ ihrer vollen Intensität erreicht hatte, deren zweites Glied mir die Zeit für $^2/_{10}$ derselben angab u. s. w.

Die gefundene Tabelle ist folgende:

Erreichte Intensität	Nach Wirkungsdauer von	Erreichte Intensität	Nach Wirkungsdauer von
$^1/_{10}$	0·0081 Sec.	$^6/_{10}$	0·058 Sec.
$^2/_{10}$	0·023 „	$^7/_{10}$	0·081 „
$^3/_{10}$	0·037 „	$^8/_{10}$	0·104 „
$^4/_{10}$	0·040 „	$^9/_{10}$	0·127 „
$^5/_{10}$	0·049 „	1	0·166 „

Um den absteigenden Ast der Curve zu bestimmen, blieb der Apparat im Wesentlichen in der geschilderten Aufstellung, nur das spiegelnde Prisma wurde so mit seiner obern Grundfläche an einem Gestell befestigt, daß sein Spiegelbild den oberen Theil des Gesichtsfeldes einnahm, während der gerade gestellte Quadrant unter dem Prisma hindurch gesehen wurde.

Die Lage der Quadranten und die Stellung der eingeschobenen Sammtscheiben mußte natürlich auch entsprechend geändert werden.

Nun bestimmte ich wieder die Zeit, welche vom Beginn der Curve an vergehen mußte bis dieselbe, nach Erreichung ihres Maximums, wieder auf die gewählten Bruchtheile desselben herabgesunken war. Ich behielt die Eintheilung in Zehntel bei, und bestimmte die Zeit für die drei ersten Punkte. Die Resultate sind:

Erreichte Intensität	Nach Wirkungsdauer von
$^{9}/_{10}$	0·359 Sec.
$^{8}/_{10}$	0·486 „
$^{7}/_{10}$	0·659 „

Nach diesen Resultaten ist die Curve (Taf. II, Fig. I) construirt. Die willkürlich gewählte höchste Intensität ist in zehn gleiche Theile getheilt, dieselben sind an der Ordinatenaxe aufgetragen. An der Abscissenaxe sind die Zeiten in Tausendtheilen einer Secunde (an je einem Ende der punktirten senkrechten Linien) angeschrieben, die von Beginn der Curve bis zu ihrer Erreichung der betreffenden Höhe vergingen.

Die punktirte Curve ist die wirklich gefundene, die durch geradlinige Verbindung der ermittelten Punkte gebildet ist. Die ausgezogene ist die muthmaßlich richtige.

Die Fehler und Unregelmäßigkeiten der durch das Experiment gefundenen Werthe, müssen wohl der Unmöglichkeit immer vollkommen gleiche Beleuchtung herzustellen, den verschiedenen Ermüdungsgraden des beobachtenden Auges, — obwohl dasselbe vor jedem Versuch ausruhte, — der immer etwas schwankenden Aufmerksamkeit, und ähnlichen unvermeidlichen Fehlerquellen zugeschrieben werden.

Die weitere Verfolgung dieser Curve, die den Verlauf der Reizung während der ersten sechs Zehntheilen einer Secunde darstellt, habe ich nicht vorgenommen, da der folgende Theil derselben

schon von Karl Friedrich Müller [1]) construirt ist, und die von ihm gefundene abfallende Curve zu dem abfallenden Ast der oben beschriebenen Curve hinlänglich zu passen scheint.

Bei Bestimmung dieser Curve mußte mir daran gelegen sein zu ermitteln, ob wirklich gleich die erste Portion einfallenden Lichts eine Wirkung auf die Netzhaut ausübe, oder ob eine Induction stattfinde. Letztere scheint entweder gar nicht oder doch nur in sehr geringem Grade vorhanden zu sein, da ich bei der kürzesten Zeit der Einwirkung des Bildes, die ich mit meinem Apparat erreichen konnte, nämlich bei 0·0001 Secunden einen der oben beschriebenen Quadranten vollkommen deutlich wahrnahm, wenn das positive Nachbild mitwirkte und das Auge hinlänglich ausgeruht war. Es ist diese Erscheinung insoferne erwähnenswerth, da man noch der gangbaren Ansicht einer photochemischen Wirkung in der Netzhaut eine Induction erwarten könnte, wie eine solche, oft Minuten lang dauernd, bei der Verbindung von Gasen in Folge von Einwirkung des Lichtes constatirt ist [2]). Es ist allerdings noch fraglich ob diese Induction in jedem Fall der chemischen Wirkung des Lichtes eintritt.

Was nun die Zeit anbelangt, die bei normalem ausgeruhtem Auge zur Wahrnehmung eines Eindruckes nöthig ist, so hängt dieselbe, so viel ich ermitteln konnte, von folgenden Umständen ab:

1. Der Intensität der Beleuchtung des wahrzunehmenden Gegenstandes,
2. der Größe desselben, respective seines Netzhautbildes,
3. der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Nachbildes nach Wegnahme des Netzhautbildes,
4. der Stelle der Netzhaut, auf welche sein Bild fällt.

Die Art und Weise, wie die Zeit von jedem dieser Umstände abhängt, will ich jetzt näher auseinandersetzen.

1. Die Beleuchtungsintensität. Bei Untersuchung der Frage: wie lange muß ein Reiz von bestimmter Größe wirken, um eine Wahrnehmung zu erzeugen, handelte es sich darum, die Nachwirkung des Reizes und ihren Einfluß auf die Wahrnehmung möglichst auszuschließen. Ich glaubte dies dadurch zu erreichen, daß

---

1) Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung. Ingrl-Dissrt. Zürich 1866.

2) Bunsen u. Roscoe: Chemische Wirkung des Lichtes. Poggendorf's Ann. B. 176.

ich den auf seine Zeitdauer zu untersuchenden Reiz durch eine möglichst starke Reizung der ganzen Netzhaut abbrach, wodurch das positive Nachbild des ersten Momentes wenigstens möglichst kurz gemacht wurde, und bald in das weniger schädliche negative übergehen mußte.

Es wurde dies dadurch erreicht, daß die mit weißen Sectoren versehene Scheibe möglichst grell beleuchtet war, so daß nachdem der Gegenstand durch den Spalt sein Bild auf die Netzhaut geworfen hatte, das ganze Gesichtsfeld mit dem grellen Weiß erfüllt wurde.

Um die Helligkeit des Beobachtungsgegenstandes genau reguliren zu können, benützte ich in diesem Falle rotirende Scheiben, die selbst als Beobachtungsgegenstand dienten. Dadurch, daß ich beliebig viele ihrer Grade schwarz machte, die anderen weiß ließ, und, natürlich immer bei derselben Beleuchtungsintensität, dieselben so schnell rotiren ließ, daß sie gleichförmig hell erschienen, erhielt ich relativ genau bekannte Lichtintensitäten.

Zur Bestimmung der Zeit, nach welcher die Wahrnehmung erfolgte, war im Centrum der Scheibe ein vollkommen schwarzer Kreis angebracht. Die Zeit, nach welcher dieser von dem umgebenden Weiß unterschieden wurde, ward als Zeit der Wahrnehmung dieses Weiß betrachtet. (Es diente also gleichsam der breite Ring zwischen diesem Kreis und der Grenze des Sehfeldes als Beobachtungsgegenstand.) Folgende zwei Versuchsreihen sollen die Art der Abhängigkeit der Wahrnehmungszeit von der Intensität der Beleuchtung nachweisen.

Letztere wächst, wie in dem früher angegebenen Versuch nach einer geometrischen Progression:

Intensitäten	Zur Wahrnehmung nöthige Zeit	Differenzen
1	0·18730 Sec.	
2	0·15873 „	0·02857
4	0·12857 „	0·03016
8	0·103174 „	0·025396
16	0·076190 „	0·026984
1	0·1851 „	
2	0·1558 „	0·0293
4	0·1280 „	0·0278
8	0·1049 „	0·0231
16	0·0756 „	0·0293

Die Differenzen sind für je eine Versuchsreihe als nahezu gleich zu bezeichnen, die Abweichungen müssen als Versuchsfehler aufgefaßt werden.

Für diese einen gewissen Grad (etwa die Intensität eines durch directes Sonnenlicht beschienenen weißen Papiers) nicht übersteigenden Lichtintensitäten läßt sich also das Gesetz aussprechen:

Wenn die Intensitäten der Beleuchtung eines Gegenstandes in geometrischer Progression zunehmen, so nehmen die zur Wahrnehmung desselben nöthigen Zeiten in arithmetischer Progression ab.

Aus diesem Gesetze geht hervor, daß es eine Intensität geben muß, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn sie verdoppelt wird, die Wahrnehmung in der halben Zeit geschieht. Es ist dies eine Intensität, die nahe der Grenze jener Intensitäten liegen muß, für welche das oben ausgesprochene Gesetz gilt; es wäre vielleicht thunlich, dieselbe als eine, wenigstens für dasselbe Individuum immer gleiche und verhältnißmäßig leicht bestimmbare Intensität für optische Zwecke zu verwerthen. Sie hängt nicht von der Größe des Gegenstandes ab, wie folgende Tabelle zeigt:

Größe des kreisförmigen Netzhautbildes	Zeit der Wahrnehmung bei der Intensität I.	Zeit der Wahrnehmung bei der Intensität II.
0·1 Mm.	0·01659	0·008338
0·3 „	0·01305	0·006576
0·5 „	0·01218	0·006148
0·8 „	0·01143	0·005772
1 „	0·010763	0·00544

2. Die Größe des Gegenstandes. In ähnlicher Weise, wie von der Intensität der Beleuchtung, hängt die zu einer Wahrnehmung nöthige Zeit von der Größe des betreffenden Netzhautbildes ab, vorausgesetzt, daß dasselbe eine gewisse Größe nicht überschreitet.

Bei diesen Versuchen dienten weiße Kreise auf schwarzem Sammtschirm als Beobachtungsgegenstände. Der Reiz wurde, wie im vorstehenden Versuch durch grelles Weiß abgebrochen. Die Resultate einer Versuchsreihe, in welcher sich die für die Größe ange-

gebenen Zahlen natürlich auf den Inhalt der Kreise beziehen, sind folgende:

Größe	Zeit d. Wahrnehm.	Differenzen
1	0·0363	
		0·0028
2	0·0335	
		0·0029
4	0·0306	
		0·0029
8	0·0277	
		0·0023
16	0·0254	

Die drei ersten Differenzen sind als gleich zu betrachten, doch zeigt sich bei der für den letzten Kreis gefundenen Zeit schon eine geringe Unregelmäßigkeit, und ein Kreis, der doppelt so groß war wie dieser, ließ über seine Wahrnehmungszeit nur mehr sehr Unsicheres aussagen, da seine Ränder, auf deren Wahrnehmung es hauptsächlich ankömmt, im Netzhautbild bereits außerhalb des gelben Fleckes lagen; der Durchmesser seines Netzhautbildes war nämlich 3·5 Millim.

Für Objecte deren Netzhautbilder aber kleiner als die *Macula lutea* sind, und die natürlich im directen Sehen betrachtet werden, läßt sich das Gesetz aussprechen:

Wenn die Größen der Netzhautbilder in geometrischer Progression wachsen, nehmen die zur Wahrnehmung nöthigen Zeiten in arithmetischer Progression ab.

3. Das Nachbild. Ich habe schon öfter Gelegenheit genommen, zu bemerken, welch großen Einfluß die Wirkung des positiven Nachbildes auf die Verminderung der nöthigen Wahrnehmungszeit ausübt. Ich will eine Versuchsreihe anführen, die dies darthun soll. Bei derselben wurde ein Gegenstand beobachtet, dessen Netzhautbild selbst immer gleich lang, dessen Nachbild aber verschieden lang wirkt. Wenn die Dauer des Nachbildes verkürzt ward, indem es durch Weiß abgeschnitten wurde, so mußte um denselben Grad der Wahrnehmbarkeit herzustellen (es war die Grenze derselben), die Intensität der Beleuchtung des Gegenstandes erhöht werden.

In der folgenden Tabelle ist die ganze Dauer des Nachbildes im Falle, wo die Intensität 1 ist, als Zeiteinheit angenommen (die an-

geführten Zahlen bedeuten also Bruchtheile der vollkommenen Dauer dieses Nachbildes) und eben so die Intensität der Beleuchtung die der Gegenstand hatte, wenn er unter Mitwirkung des ganzen Nachbildes eben sichtbar war, als Einheit der Intensität. Das Netzhautbild selbst wirkte 0·022 der Dauer des Nachbildes.

Dauer des Nachbildes	Intensität	Dauer des Nachbildes	Intensität	Dauer des Nachbildes	Intensität
0	20·66	0·154	7·149	0·418	2·892
0·022	15·75	0·176	6·175	0·465	2·778
0·044	13·16	0·198	5·260	0·509	2·504
0·066	10·68	0·242	4·409	0·553	2·282
0·088	9·76	0·286	4·000	0·597	2·162
0·110	8·650	0·330	3·727	0·685	1·595
0·132	7·890	9·374	3·121	0·773	1·273
				1·000	1·000

Es geht hieraus hervor, daß im vorliegenden Falle die Lichtintensität des Netzhautbildes auf mehr als das zwanzigfache erhöht werden mußte, wenn es ohne Mitwirkung des Nachbildes denselben Effect hervorbringen sollte, den es unter Mitwirkung des Nachbildes hervorgebracht hatte, ferner daß, wie vorauszusehen war, das Nachbild in der ersten Zeit seiner Wirkung weit mächtiger zum Zustandekommen der Wahrnehmung beiträgt, wie in späteren Momenten. Die Bestimmung der Beleuchtungs-Intensität zum Ersatz für den letzten Theil des Nachbildes ist so schwierig, daß die Resultate keine genauen sein können, weßhalb ich sie gar nicht mitzutheilen vorziehe.

4. Die Lage der gereizten Netzhautstelle. Um das Bild, das mein Apparat gab, auf Netzhautstellen fallen zu lassen, welche von dem Fixationspunkt um gewisse bekannte Distanzen abstanden, brachte ich an das Ocular des Fernrohres ein unter einem Winkel von 45° geneigtes Glasblättchen so an, daß es mir, während ich durch dasselbe den Beobachtungsgegenstand betrachtete, eine seitlich an der Wand des Zimmers befestigte Marke spiegelte. Es wurde anfangs die Marke so gestellt, daß ihr Spiegelbild mit dem Beobachtungsgegenstand (weißer Kreis auf schwarzem Schirm) zusammenfiel. Wurde die Marke nun längs einer geraden Linie verschoben und ihr Spiegelbild fixirt, so gab der Winkel, der zwischen den beiden

Verbindungslinien des Auges mit der Primärstellung der Marke einerseits, und mit dem jedesmaligen Ort derselben andererseits lag, unmittelbar den Winkel an, den die Gesichtslinie mit der Richtungslinie der Marke einschloß. Die nicht genau bestimmbare Entfernung des spiegelnden Glasblättchens vom Knotenpunkt des Auges, konnte bei den verhältnißmäßig sehr großen übrigen Entfernungen keinen wesentlichen Fehler bedingen. Es ist selbstverständlich, daß alle übrigen Umstände, die auf die nöthige Wirkungsdauer Einfluß haben, entfernt waren, so z. B. wieder das Nachbild durch grelles Weiß unschädlich gemacht wurde.

Bei diesen Versuchen zur Bestimmung der Wahrnehmungszeit an den peripherischen Stellen der Netzhaut, machte sich eine Erscheinung in hohem Grade geltend, die ich bis jetzt noch nicht erwähnt habe. Es ist nämlich die genaue Localisation schwacher Lichtreize weit schwieriger als jene intensiver Reize, so daß bei einer gewissen Dauer der Sichtbarkeit ein weißer Kreis, z. B. als verwaschener heller Fleck wohl gesehen werden kann, die Dauer aber vergrößert werden muß, wenn er als Kreis mit deutlichen Contouren erkannt werden soll. Da diese Erscheinung sich an den peripherischen Netzhautstellen in weit höherem Grade als im Fixationspunkt zeigt, so habe ich zwei Reihen von Zeitbestimmungen vorgenommen, in deren erster die Dauer, welche an den betreffenden Netzhautstellen zur deutlichen Wahrnehmung der Contouren des Kreises nöthig war, und in deren zweiter die Dauer, die zu seiner Wahrnehmung als hellen verwaschenen Fleck nöthig war, bestimmt wurden.

Die Resultate der ersten Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt; die Winkel geben den Richtungsunterschied der Gesichts- und der Richtungslinie des Beobachtungsgegenstandes in jedem Falle an, die Zeiten sind in Secunden ausgedrückt. Jenseits des Winkels von 9° 30′ ist mir eine deutliche Wahrnehmung der Contouren, oder wenigstens eine hinlänglich genaue Bestimmung der dazu nöthigen Zeit unmöglich gewesen.

Winkel	Wahrnehmungszeit der Contouren	Winkel	Wahrnehmungszeit der Contouren	Winkel	Wahrnehmungszeit der Contouren
0° (Fixationspunkt)	0·0312	2° 30′	0·0277	6° 30′	0·0324
1°	0·0272	4° 30′	0·0289	9° 30′	0·0353

Die Resultate der zweiten Versuchsreihe in derselben Weise zusammengestellt sind folgende [1]:

Winkel	Wahrnehmung als hellen Fleck	Winkel	Wahrnehmung als hellen Fleck	Winkel	Wahrnehmung als hellen Fleck
0° (Fixationspunkt	0·0261	2° 30'	0·0219	6° 30'	0·0237
1°	0·0231	4° 30'	0·0191	9° 30'	0·0272

Ich habe zur deutlicheren Übersicht dieser Resultate zwei Curven gezeichnet, deren erste *A B* (Taf. II, Fig. 2) das Verhältniß der Wahrnehmungszeit der Contouren an den verschiedenen Netzhautstellen, deren zweite *a b* dasselbe Verhältniß bezüglich der Wahrnehmung als hellen Fleck darstellt. Die Ordinaten repräsentiren die Wahrnehmungszeiten, welche für jeden der gefundenen Punkte an der ersten und letzten Ordinate in Zehntausendtheilen einer Secunde angeschrieben sind; die Abscissen stellen die Entfernungen der gereizten Netzhautstellen vom Fixationspunkt dar; sie sind an der Abscissenaxe in Mm. angeschrieben. Die punktirten Linien sind die durch geradlinige Verbindung der gefundenen Punkte erhaltenen Curven, die ausgezogenen, die vermuthlich richtigen Curven. Der Anfang derselben entspricht dem Fixationspunkt, das Ende der bezeichneten Entfernung auf der Netzhaut von demselben.

Zunächst zeigt sich, daß der reizbarste Theil der Netzhaut durchaus nicht im Fixationspunkt, sondern in einer gewissen Entfernung von demselben liegt. Von diesem gegen die Peripherie der Netzhaut hin nimmt die Reizbarkeit continuirlich ab.

Die Minima der Zeiten für die beiden besprochenen Arten der Wahrnehmung liegen nicht gleich, sondern die Netzhautstelle, welche in der kürzesten Zeit den Contour erkennt, liegt dem Fixationspunkt näher, als jene, welche in der kürzesten Reizungszeit einen Eindruck zu liefern vermag [2].

---

1) Alle diese Versuche leiden an dem Fehler, daß der Beobachtungsgegenstand eine nicht zu vernachlässigende Größe besitzt, so daß sein Netzhautbild also zugleich an Netzhautstellen, die verschiedene Entfernungen vom Fixationspunkt haben, fallen muß, ferner, daß eine vollkommen genaue Fixation, besonders wenn die Aufmerksamkeit auf einen nicht fixirten Gegenstand gerichtet ist, fast zu den Unmöglichkeiten gehört.

2) Der Berechnung der Entfernungen auf der Netzhaut nach den gefundenen Winkeln, legte ich Listing's Knotenpunkt zu Grunde, dessen Entfernung von der Fovea 16·994 Mm. beträgt. Da diese Entfernung größer ist als die wirkliche, so dürften auch die gefundenen Resultate ein weniges zu groß ausgefallen sein.

Es ist dies eine Trägheit der Empfindung im Netzhautcentrum, durch welche sich auch eine mir vom Herrn geh. Rath Helmholtz mündlich mitgetheilte Beobachtung desselben erklärt.

Wenn man nämlich ein Blatt bedruckten Papiers beobachtet, sein Netzhautbild aber nur so lange wirken läßt, daß die ersten Anfänge des Erkennens eintreten, dabei das positive Nachbild durch grelles Weiß vernichtet, so sieht man einzelne oft nur halbe Buchstaben aufblitzen, während jene der nächsten Nähe noch nicht erkannt werden können. Die nähere Untersuchung zeigt, daß diese erkannten Buchstaben diejenigen sind, welche ihr Netzhautbild nicht im Fixationspunkt, sondern in einer gewissen Entfernung von demselben entwerfen.

Es zeigt sich übrigens das Netzhautcentrum auch in Bezug auf die Dauer des Nachbildes träger als die übrigen Netzhautstellen. Man sieht dies sehr deutlich, wenn man ein blaues Glas so vor dem Auge zitternd hin und her bewegt, daß die Zeit, während welcher das Glas vor demselben ist, in jeder Periode der Bewegung kleiner ist, als jene, während welcher dasselbe frei ist. In diesem Falle erscheint eine gesehene weiße Fläche bläulich, nur die *Fovea centralis* hebt sich als weißer Fleck von dem bläulichen Grunde ab; offenbar weil in ihr der kurze blaue Reiz keine merkliche Wirkung hervorbringt, während der Reiz des Weiß noch während der Wirkung von Blau fortdauert. Auch bei einfachem Vorschieben des blauen Glases vor das Auge kann man erkennen, daß in der *Fovea centralis* das Blau erst später wahrgenommen wird. Analoge Erscheinungen lassen sich durch den Wechsel von blauen und rothen Gläsern hervorrufen.

Sehr auffallend macht sich diese Eigenschaft des Netzhautcentrums auch bei der Art des Auftauchens und Verschwindens eines beobachteten weißen Kreises auf schwarzem Grunde kenntlich. Wenn nämlich mittelst meiner Apparate das Netzhautbild desselben eben so lange wirken gelassen wurde, daß es eine mäßig deutliche Wahrnehmung erzeugt, und so groß ist, daß es ungefähr die ganze *Macula lutea* erfüllt, so erscheint der Kreis im ersten Augenblicke seines Sichtbarwerdens nicht als gleichmäßig weiße Scheibe, sondern es wird zuerst seine Contour sichtbar, die sich gleichmäßig nach Innen ausdehnt bis sie das Centrum erreicht [1]). Wird das Netz-

---

[1]) Wirkt der Kreis nur so lange, daß er eben die ersten Spuren der Wahrnehmung gibt, so erscheint er nur als Ring, natürlich vorausgesetzt, daß sein Centrum fixirt ist.

hautbild nun weggenommen, so verschwindet zuerst die Peripherie, und von dieser setzt sich das Verschwinden gegen das Centrum hin fort, welches also am längsten gesehen wird. Da diese Processe natürlich sehr schnell vor sich gehen, so bekommt ein Kreis beim Auftauchen das Ansehen als ob er von hinten und außen nach vorne und innen hervorwachsen, beim Verschwinden, als ob er sich in sich selbst zu nichts zusammenziehen würde[1]).

Es gehört dies eigentlich schon in das Gebiet subjectiver Erscheinungen, deren mir einige im Verlaufe der mitgetheilten Arbeit auffielen, die ich demnächst ausführlicher zu besprechen gedenke.

Ich fasse kurz die Resultate meiner Versuche zusammen:

Der Verlauf der Netzhautreizung bei gleichbleibendem Reizmittel kann durch eine Curve ausgedrückt werden, die einen aufsteigenden und einen absteigenden Ast besitzt. Wenn die Intensitäten der Reizung in geometrischer Progression wachsen, so nehmen die Zeiten, nach welcher die Curve ihr Maximum erreicht, in arithmetischer Progression ab.

Die Wirkungsdauer eines Netzhautbildes, welches eine Wahrnehmung hervorrufen soll, hängt ab:

1. Von seiner Intensität, und zwar nimmt die Wirkungsdauer in arithmetischer Progression ab, wenn die Intensitäten in geometrischer Progression wachsen.

2. Von seiner Größe, der Art, daß wenn die Größen in geometrischer Progression wachsen, die Wirkungsdauern in arithmetischer Progression abnehmen.

3. Von der Anwesenheit des positiven Nachbildes: die Wirkungsdauer kann um so kleiner sein, je länger das Nachbild wirkt.

4. Von seiner Lage auf der Netzhaut, so daß die Wirkungsdauer am kleinsten wird, wenn das Netzhautbild 1·33 Millim. vom Fixationspunkte entfernt liegt. Soll das Netzhautbild aber nicht blos empfunden, sondern in möglichst kurzer Zeit auch erkannt

---

1) Schon Maxwell und Helmholtz (Physiologische Optik. S. 420) bemerkten, daß in der Fovea erst später als in den übrigen Theilen der Netzhaut ein Eindruck wahrgenommen wird, und wieder verschwindet.

werden, so muß es 0·29 Millimeter vom Fixationspunkte entfernt sein.

Ich kann diese Arbeit nicht dem Publicum übergeben, ohne Herrn Geheimrath Helmholtz für die große Mühe, welche er sich bei Ausführung derselben mit mir, als einen in der Wissenschaft unerfahrenen Neuling, zu geben entschließen konnte, meinen innigst gefühlten, aufrichtigsten Dank öffentlich auszusprechen.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I.

Fig. 1. Elektromagnetischer Rotationsapparat (1/2 der natürlichen Größe).

„ 2. Apparat zur Unterbrechung des Lichteindruckes (1/3 der natürlichen Größe).

„ 3. Dessen Spaltvorrichtung von vorne gesehen (2/3 der natürl. Größe).

Tafel II.

Fig. 1. Curve, darstellend den Verlauf der Netzhautreizung. Die Abscissen bedeuten die Zeit vom Anfang der Reizung gerechnet; sie sind in Tausendtheilen einer Secunde angegeben.

„ 2. Curve *ab* stellt das Verhältniß der Zeiten, welche zur Hervorrufung eines Eindruckes, in verschiedenen Entfernungen vom Netzhautcentrum nöthig ist, dar. *AB* desgleichen für einen genau erkennbaren Eindruck. Die Ordinaten bedeuten die in Zehntausendtheilen einer Secunde angeschriebenen Zeiten. Die Abscissen in Mm. ausgedrückt, die Entfernungen vom Fixationspunkt.

Taf. I.

Fig. 1.

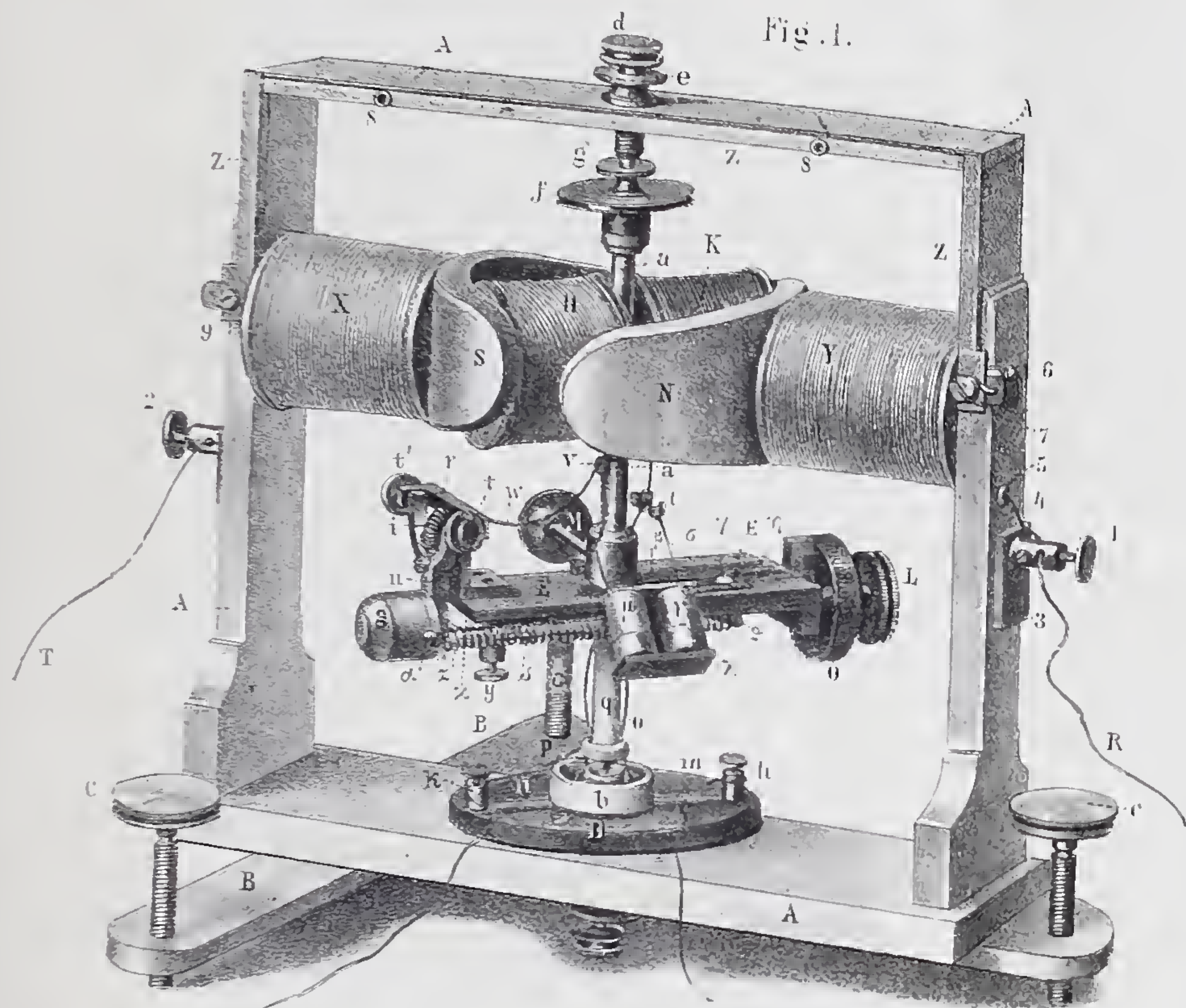


Fig. 2.

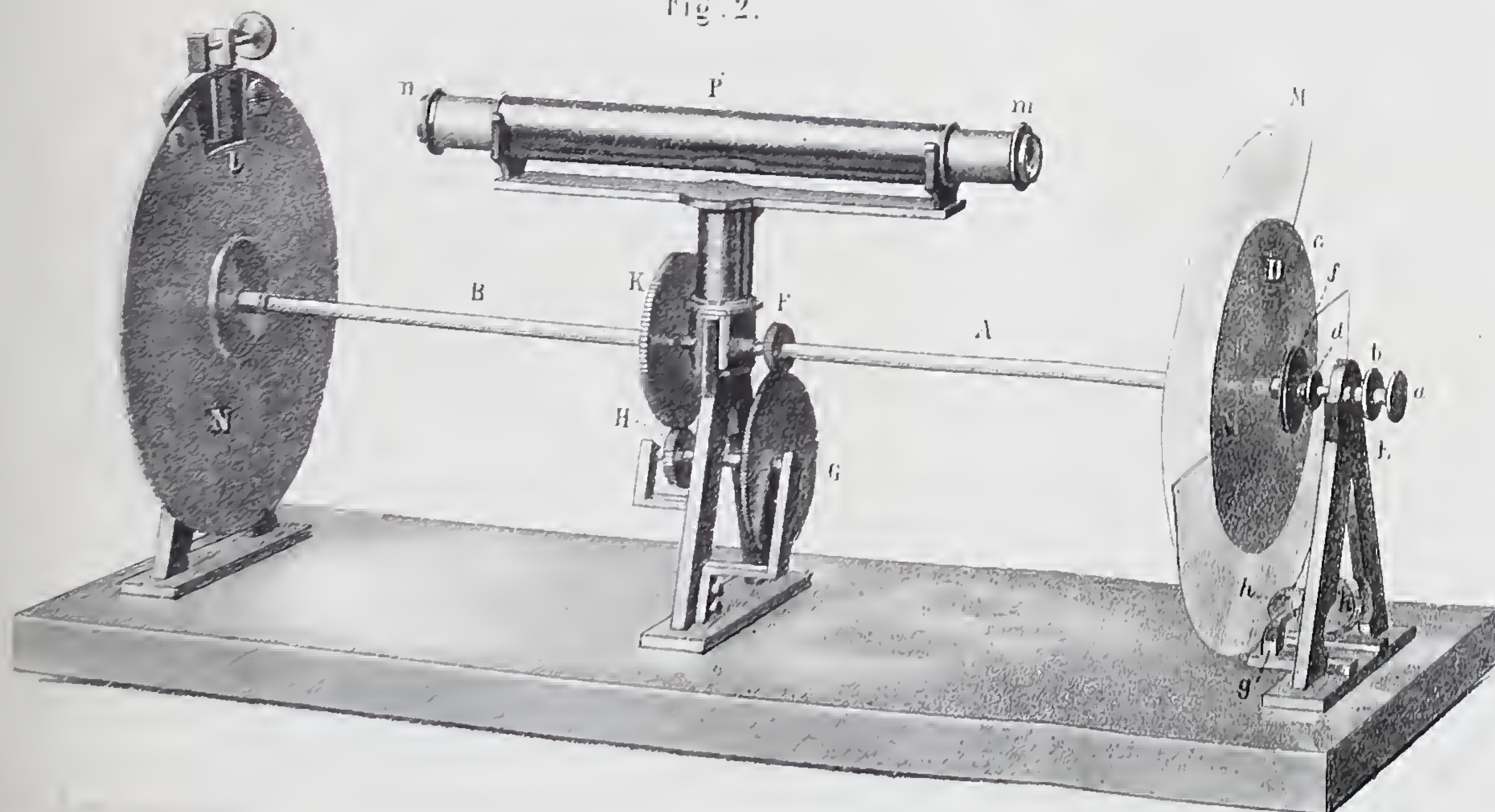
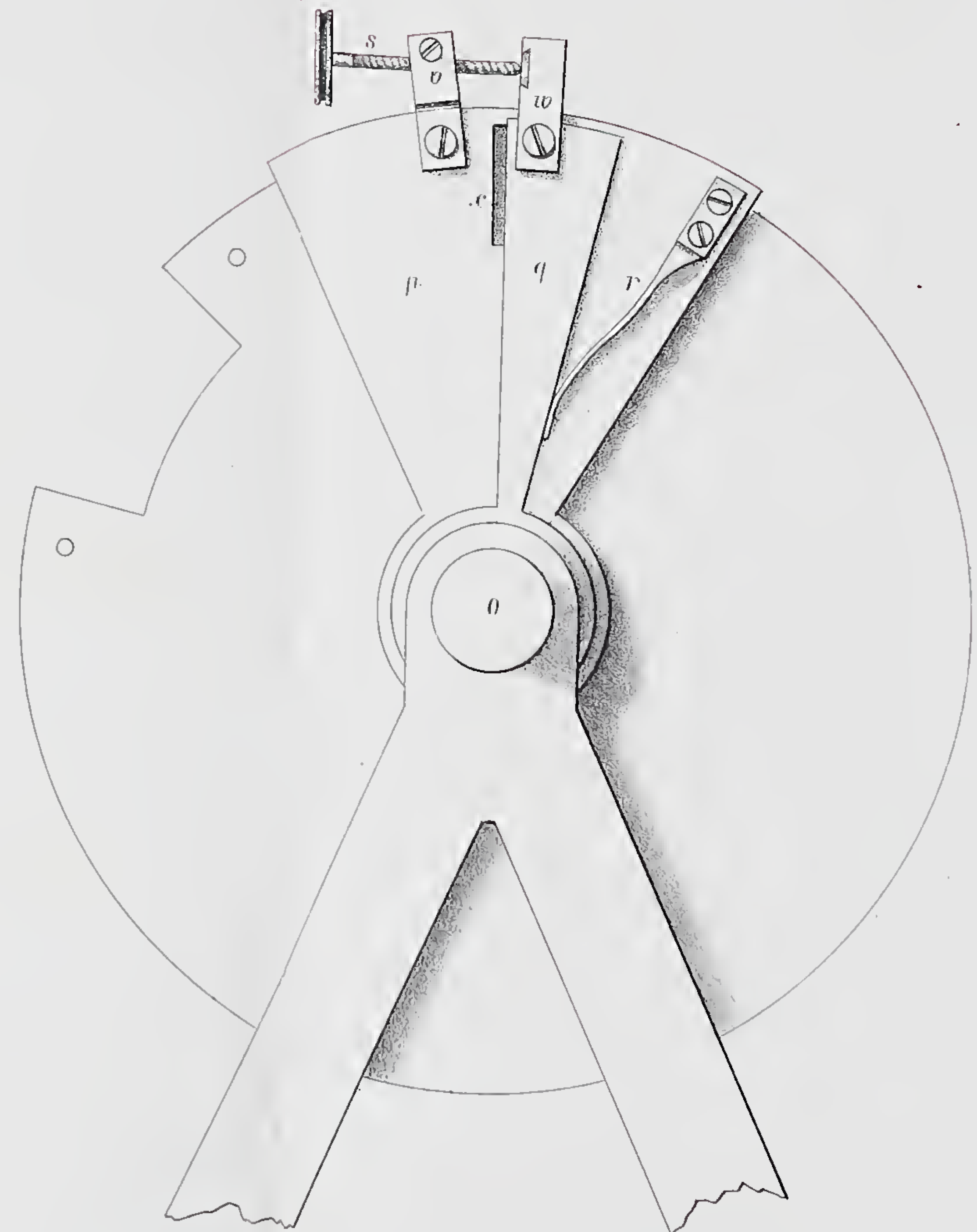
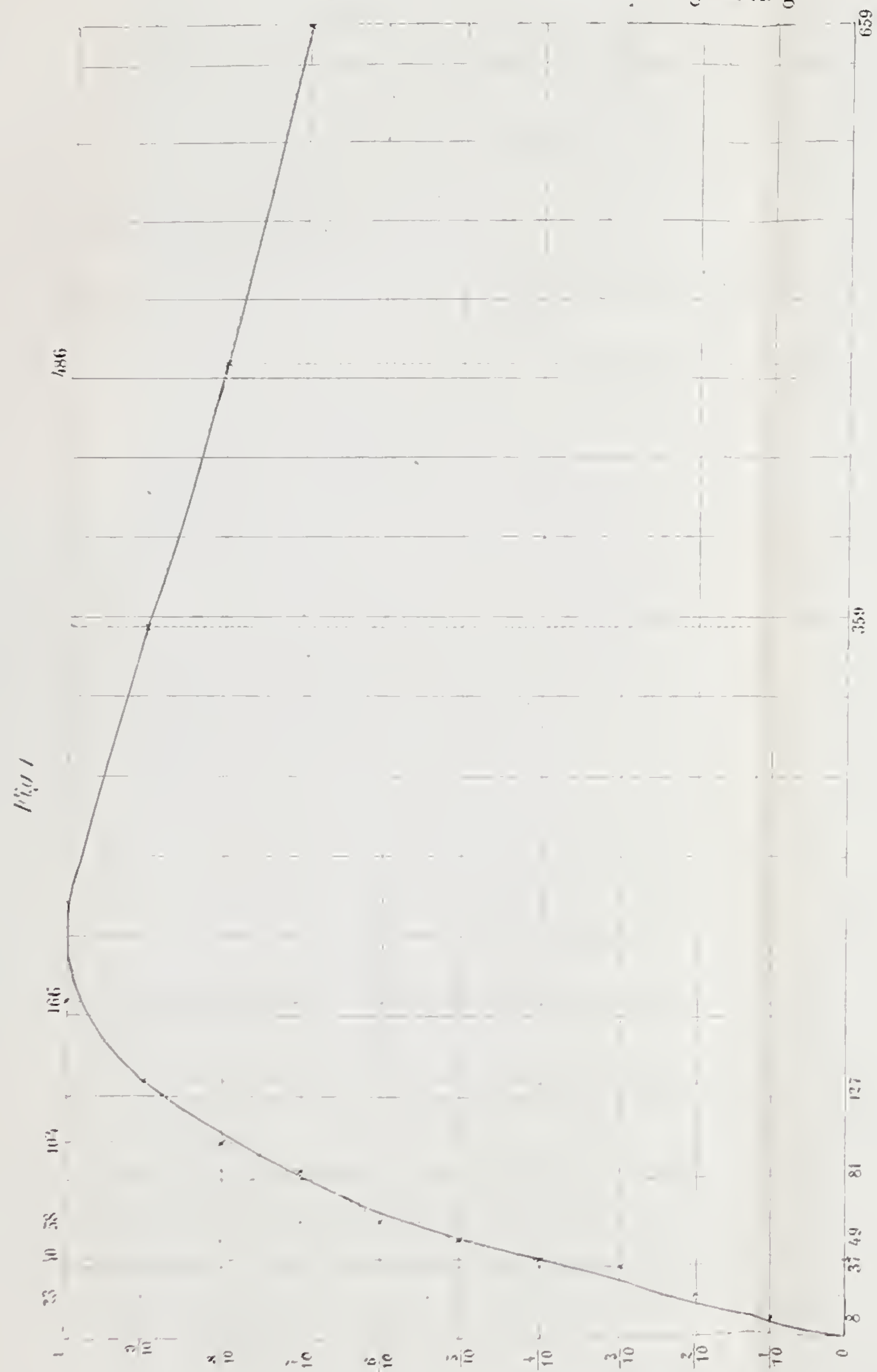
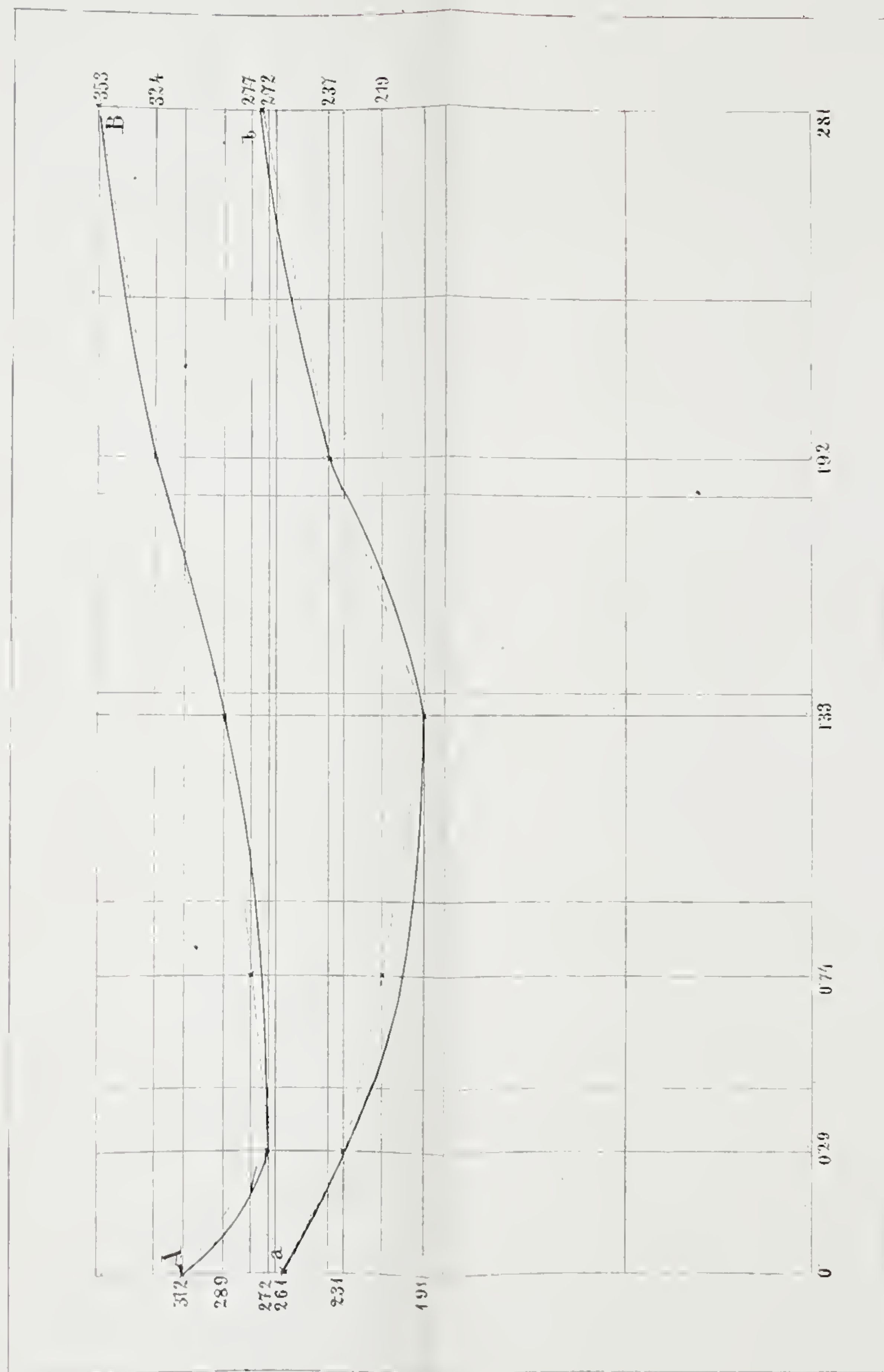


Fig. 3.



Lith. u. Gedr. in d. k. k. Hof. u. Sta...





Lith u gedr in d k k Hof u Staatsdruckerei